

## 関西支部だより

関西支部 2018 年度総会ならびに第 1 回講演会・見学会が 5 月 11 日 (13 時 10 分～17 時 15 分) に大阪府立大学中百舌鳥キャンパス A12 棟サイエンスホール (堺市中区) において開催された。2018 年度総会には出席者数 33 名、委任状数 54 名 (会員総数 220 名、総会成立は会員総数の 4 分の 1 以上の 55 名) であった。関西支部長の白井康之氏の挨拶に続き、議長としてテクノサポートの田中峰雄氏が選出された。2017 年度事業報告および 2018 年度事業計画が各幹事より報告され、全ての内容が承認された。議長解任の挨拶の後、関西支部新支部長の横山彰一氏の挨拶で総会を終了した。

第 1 回講演会・見学会は関西支部の活動、運営に多大な貢献があった石田武和氏が本年 3 月に大阪府立大学を定年退職されたことを記念する趣旨で企画された。参加者総数 43 名 (大学・研究所関係 17 名、会社関係・一般 26 名) であった。関西支部長の挨拶に続き、以下の 3 件の講演と学内低温関連施設の見学があった。

1. 「超伝導検出器による中性子イメージング」  
 宍戸 寛明氏 (大阪府立大学大学院工学研究科)
2. 「低温用温度計の開発」  
 四谷 任氏 (大阪産業技術研究所)
3. 「関西から：超伝導研究者の取り組み」  
 石田 武和氏 (大阪府立大学 名誉教授)

宍戸氏の講演では、超伝導検出器による中性子イメージングの開発に関する発表があった。検出器は Si 基板上に Nb のグラッドプレーンを堆積し、絶縁層を介して、互いに直交する 2 本のメアンダ状超伝導 Nb 細線を微細加工により配置し、その上に  $^{10}\text{B}$  を積層した構造になっている。2 本のメアンダ状超伝導細線には DC 電流を流し、両端の電圧をモニターする。中性子が  $^{10}\text{B}$  と核反応を起こすと、生成されるイオンにより超伝導細線の一部にエネルギーが付与される。これによりクーパー対の一部が破壊され、運動インダクタンス  $L_K$  の時間微分  $dL_K/dt$  がゼロでない値を持つ。その結果、パルス状の信号が誘起され電磁波として細線の両端へと伝搬する。十分に高速な信号検出を行えば、両端に信号が到達した時間の差から局所的な準粒子励起が細線のどの位置で起こったかを特定することができる。それぞれのメアンダラインにおける信号到達時間の差から  $x, y$  の座標を知ることが可能となるわけである。このような原理に基づく超伝導中性子検出器を電流バイアス運動インダクタンス検出器(CB-KID)方式と呼び、これによりわずか 4 系統の信号を検出することで 100 万画素を超える 2 次元検出器を実現できる。素子は産総研 CRAVITY により作製した。信号伝搬速度は 4 K 以下ではほぼ一定であり、Nb の超伝導転移温度付近で急速にゼロになり、超伝導電子密度

の温度依存性でよく説明される。伝搬速度の絶対値は 2 本のメアンダでやや異なるが、これも絶縁層の厚みの差で説明され再現性は良い。この素子を用いて、J-PARC センター-BL10 にてパルス中性子源による照射実験を行った。信号検出には時間デジタル変換器 Kalliope-DC を用いた。この実験では穴に  $^{10}\text{B}$  粉末を充填した、穴径 100  $\mu\text{m}$ 、周期 250  $\mu\text{m}$  のステンレスパンチングメタルを撮像に用い、その  $^{10}\text{B}$  粉体のサイズ、周期ともに良く再現された中性子イメージング画像が得られた。この画像は検出器の温度 4.15 K において 30.4 時間、中性子の波長  $\lambda$  が  $0.05 < \lambda < 1.13 \text{ nm}$  の範囲内での積算の結果である。また、画像のラインプロファイルと微分データが示され、ガウス関数によるフィッティングの結果から分解能 22  $\mu\text{m}$  が達成されていることが明らかとなった。Kalliope-DC が高い時間分解能を持つことから、飛行時間法によるエネルギー分解中性子イメージングも達成している。 $^{10}\text{B}$  との核反応を除けば中性子に限らず、高感度高分解能カロリメータとして一般的に通用する素子であり、今後の発展が非常に楽しみな開発研究である。

四谷氏の講演では、低温用温度計の開発に関する紹介があった。四谷氏は LakeShore 社が製品化し、低温分野で標準的な温度計として定評のある Cernox 温度素子の開発者である。講演では Cernox 開発までの経緯と、さらに新たな温度素子を開発している現状について発表があった。抵抗温度計は金属や半導体の電気抵抗が温度に大きく依存するものを利用する。この際、抵抗ができるだけ広い温度範囲で変化するものが望まれる。しかしながら、極低温において金属では抵抗値が一定になり、半導体では指数関数的に抵抗が増大するという難がある。そこで、NbN、ZrN、CrN といった金属窒化物に着目した。これは抵抗の温度変化がアンダーソン局在に起因し、低温で抵抗が増大するが指数関数的ではないため室温から 1.2 K まで抵抗測定ができるものである。さらに、アンダーソン局在による負の磁気抵抗が通常の正の磁気抵抗と打ち消し、きわめて磁気抵抗の小さな特性が得られた。実際に Cernox として製品化された素子は、ZrN に少し酸素を導入したもので、これにより温度サイクルが安定した。温度サイクル、経時変化の安定性といった地道な特性評価は基礎研究とは目標が全く異なり、「世界一の性能」よりも「同じモノを再現性良く作ること」が優先されるのである。最後に、さらに磁気抵抗が小さく、温度サイクル安定性のよい  $\text{CrN}_x$  温度計の開発現状について発表があった。 $\text{CrN}_x$  は 4 K の磁気抵抗が Cernox の半分、2 K では Cernox の 1/20 と極めて良好な特性を示す。なお、四谷氏は“磁場に感応しない極低温用温度センサの研究”で平成 16 年度文部科学大臣賞を受賞されていることを改めて付記させていただく。

石田氏の講演では、まず、これまで大阪府立大学で取り組んできた研究を概観した。非線形帯磁率自動計測装置や、高感度磁気トルク自動計測システムの自作、 $d$  ドットとい

う量子素子の提案、超伝導検出器の開発、SQUID による 3 次元磁場ベクトル計測システムの開発、異方的超伝導体の磁気トルク理論の研究などである。今後は引き続き量子放射線系専攻の客員教授として大阪府立大学で研究を継続されることが示された。次に、新しい SQUID 顕微鏡開発に関する最新の研究結果について報告があった。SQUID 顕微鏡は超伝導磁束を 1 本ずつ観測するのに極めて適した装置である。これを用いた研究例としてまず紹介されたのが、非対称性による新奇な磁束状態である。円板の一部を欠いたパックマン型と呼ばれる超伝導微小板に量子磁束を充填していくと、円板の欠けた部分から量子磁束が優先的に侵入する。その際、磁束パターンはいわゆるシェル（殻）構造やアーク（円弧）構造をとり、磁束の数にマジック数が存在することが実験と理論シミュレーションの両面で明らかになった。一方、実験で観測される磁束パターンのより精細な画像を得るため、ピックアップコイルの試料からの高さや角度を逆ピオ・サバール法で補正する手法を考案し、より真実に近い磁束パターン画像を得ることに成功した。さらに、製品としての SQUID 顕微鏡素子が生産終了とのことで自らその開発に着手した。特に新しい試みとして、検出コイルや素子を  $x$ 、 $y$ 、 $z$  方向に設置するという、いわゆるベクトル SQUID 顕微鏡の設計、製作を行った。素子は産総研 CRAVITY により作製された。 $I$ - $V$  特性から評価した臨界電流が  $27 \mu\text{A}$  であり、設計値と良い一致を示す。電圧-磁束 ( $V$ - $\Phi$ ) 特性は印加磁場に対してきれいな周期構造を示し、そのバイアス電流依存性から、これらの素子がバイアス電流値  $20 \mu\text{A}$  -  $50 \mu\text{A}$  の範囲で動作することが確認された。ベクトル SQUID 素子を現有の SQUID 顕微鏡に装着し、量子磁束を観測した結果、 $z$  方向では従来と同様の対称な量子磁束像が得られ、 $x$  方向、 $y$  方向では磁束の中心を通過する前後で向き（符号）が反転する像が得られた。今後の展開が楽しみである。



講演会の様子

3 件の講演とも予定時間を超過する非常に活発な質疑応答があった。講演会終了後、関西支部副支部長の武田実氏による閉会の挨拶で会を締めくくった。

その後、約 15 人程度で 3 班に分かれて、800 m ほど離れた研究推進機構 C 棟エリアに向かった。C10 棟 1 階に希釈冷凍機、15 T 超伝導マグネット、磁気トルク自動計測装置が設置された電気物性室とヘリウム液化室があり、2 階に SQUID 顕微鏡と SQUID 磁力計が設置された磁気物性室とクラス 1000、クラス 100、クラス 10 の部屋を有するクリーンルームがある。クリーンルームには PLD、MBE、多元スパッタ装置などの薄膜製造装置や EB、FIB、イオンミリングなどの微細加工装置、SEM、レーザー顕微鏡、段差計などの薄膜観測装置などが設置されている。今回はクラス 10000 の廊下からの見学となった。C15 棟に超伝導検出器や SQUID 素子関連の実験室があり、今年度当初に急ピッチで整備されたものである。見学会後、C10 棟正面玄関に集合し、記念撮影を行った。



見学会後の集合写真（C10 棟玄関前）

見学終了後、有志 32 名により恒例の懇親会が、大阪府立大学 B15 棟シェルで開催され、会員相互の交流を深めた。

最後に、今回の総会、講演会・見学会の開催にあたり、場所のご提供および講演・見学の企画にご協力頂きました大阪府立大学の皆様、話題のご提供を頂きました講師の先生方にこの場をお借りして厚くお礼を申し上げます。

（大阪府立大学 野口 悟）